

Serientaugliche Fertigung von Hochleistungs-Faserverbundbauteilen mit Polyurethanmatrix

## Zusammenarbeit revolutioniert den Fahrzeugbau

Henkel hat ein neues Polyurethanharzsystem für das Resin Transfer Molding (RTM) Verfahren zur schnellen Fertigung von Bauteilen in der Automobilindustrie entwickelt. Das Know-How von Henkel auf dem Gebiet der polyurethanbasierten Matrixharze und die Expertise von KraussMaffei, dem weltweit führenden Hersteller von Maschinen zur Kunststoffverarbeitung, passen perfekt zusammen. Das Resultat: Härtingszeiten von einer Minute sind nun möglich, ein deutlicher Fortschritt für die schnelle und effiziente Großserienfertigung von Faserverbundbauteilen.

Getrieben durch die Ziele zur Verbrauchseffizienz und die damit verbundenen Leichtbauanforderungen sind faserverstärkte Verbundbauteile ein zunehmend wichtiges Element in den Multi-Material-Konzepten moderner Fahrzeuge. Hohe Festigkeiten verbunden mit geringem Gewicht machen glas- und kohlenstofffaserverstärkte Werkstoffe für den Fahrzeugkomponentenbau attraktiv. Als Herstellverfahren für die Großserie sind dabei Injektionsverfahren wie RTM besonders bedeutend.<sup>1</sup>

Henkel hat seine Erfahrungen zur Matrixharzentwicklung für Komposite gezielt mit Grundlagenentwicklungen aus den Segmenten Klebstoffe und Oberflächenmodifizierung kombiniert, so dass ein vollständiges und angepasstes System für die Herstellung und Integration von Kompositen ins Automobil vorliegt.

Loctite MAX 2 besitzt im Vergleich zu den üblichen Epoxidharzen für RTM eine sehr attraktive Kombination aus guter Mechanik und hoher Schadenstoleranz. Tabelle 1 zeigt einige ausgewählte Kenngrößen des Reinharzes.

Reinharzeigenschaften	Polyurethan Matrixharz
Zugmodul [MPa]	2800
Zugfestigkeit [MPa]	80
Elongation [%]	5-10
Glasübergangstemperatur [°C]	115*
Kritischer Spannungsintensitätsfaktor $K_{1c}$ [MPa*m <sup>0.5</sup> ]	1.2

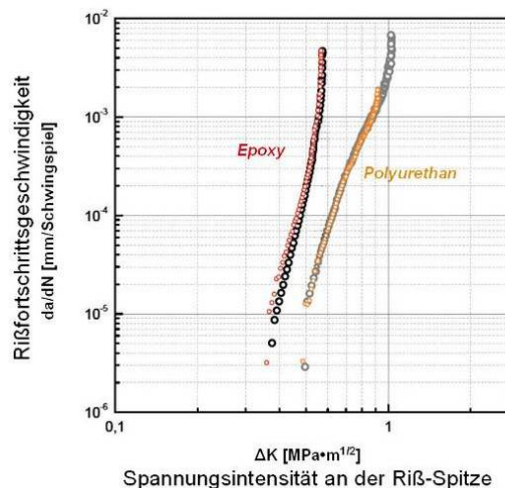
\* nach Tempern

Tabelle 1: Eigenschaften des gehärteten Reinharzes.

### Hohe Zähigkeit bewirkt eine längere Lebensdauer

Die Besonderheit des Polyurethan Matrixharzes zeigt sich im außerordentlich hohen Spannungsintensitätsfaktor, der ein Maß für die Zähigkeit ist. Die spezifischen Wechselwirkungen der Polyurethanmoleküle, welche zusätzlich zur chemischen Vernetzung wirken, tragen zu dieser Eigenschaft bei.

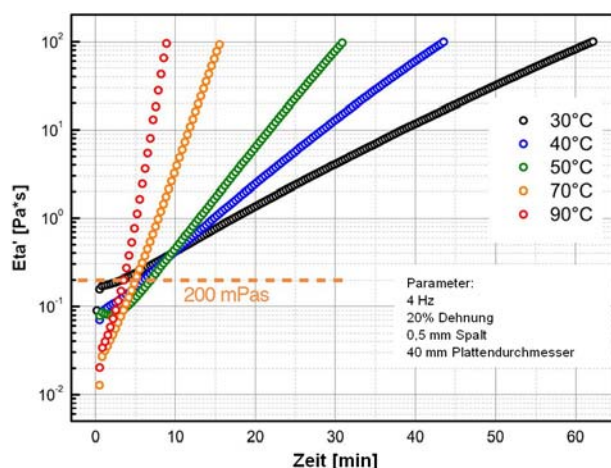
Diese ausgezeichnete Zähigkeit wirkt sich unter anderem auch positiv auf das Ermüdungsverhalten unter Last aus: Die hohe Toleranz gegen Spannungsspitzen lässt kritische Risse später entstehen und führt so zu einer längeren Lebensdauer.<sup>2,3</sup> Gerade im Automobil, welches im Fahrbetrieb ständig dynamischen Belastungen ausgesetzt ist, sind Materialien mit einer hohen Ermüdungstoleranz notwendig, um das Leichtbaupotential möglichst vollständig ausschöpfen zu können.



Graphik 1: Untersuchung des Rissfortschritts unter Wechsellast (Reinharz). Vergleich einer typischen Epoxidharz-Referenz mit einem entsprechenden Polyurethanharz.

Doch nicht nur die Materialeigenschaften sind wichtig: In der Serienproduktion von Automobilen geht es vor allem um Geschwindigkeit, und das RTM Verfahren ist ein Verfahren, welches kurze Taktzeiten ermöglichen kann.

In Grafik 2 ist das Viskositätsverhalten von Loctite MAX 2 dargestellt. Die extrem niedrigen Viskositäten, auch bei niedriger Temperatur, erlauben eine sehr schnelle Harzinjektion ohne Faserverzug bei gleichzeitig guter Benetzung – selbst bei einem hohen Faser-Volumen-Gehalt.<sup>4</sup>



Grafik 2: Rheologisches Verhalten von Loctite MAX 2 während der Härtung bei verschiedenen Temperaturen.

### Schnelle Aushärtung selbst bei hohen Bauteilstärken

Zudem ermöglicht die Polyurethanchemie eine kontrollierbare und damit sichere Steuerung der Härtungsreaktion sowohl durch Temperaturanpassung als auch mit zusätzlichem Beschleuniger. Die generell niedrige Wärmeentwicklung bei der Aushärtung ermöglicht selbst bei hohen Bauteilstärken mit vielen Faserschichten eine schnelle Härtung und verringert das Risiko von lokalen Überhitzungen sowie den damit verbundenen Fehlstellen.

Verbesserungen im Hinblick auf schnelle und sichere Herstellung von Komposit-Teilen ist das erklärte Ziel in der Zusammenarbeit von Henkel und KraussMaffei.

Henkel und KraussMaffei haben durch ihre Zusammenarbeit erfolgreich gezeigt, dass mit dem neuen Harzsystem auf Hochdruck-RTM-Anlagen eine deutliche Reduktion der Produktionszeit zu erzielen ist. Loctite MAX 2 härtet wesentlich schneller aus als die vergleichbaren Epoxid-Harze, die derzeit hauptsächlich im RTM-Verfahren genutzt werden. Am Beispiel eines konkreten dreidimensional geformten Bauteils konnte eine Härtungszeit von einer Minute realisiert werden. Die verwendeten Maschineneinstellungen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Injections Parameter	Polyurethan Matrixharz
Fasern	4 Lagen CF Gewebe 300 g/m <sup>2</sup>
Formtemperatur	120°C
Injektionszeit	4 sek
Harzinjektionsrate	70 g/sek
Zeit bis zur Entformung	1 min

Tabelle 2: RTM-Prozess Parameter für die Herstellung des Polyurethan-Komposit-Bauteils.

Das Harz wurde in die vorgeheizte und evakuierte Form injiziert und nach einer Minute entnommen. Der Faservolumenanteil betrug etwa 50 Prozent, wobei unabhängig vom Laminataufbau kein Faserverzug erkennbar war. Das Befräsen in die endgültige Form erfolgte direkt nach dem Abkühlen der Bauteile.



Bild 1: Geöffnete Form von Ningbo Huaxiang (CN) mit dem unbearbeiteten Bauteil vor der Entnahme (KraussMaffei in München).



Bild 2: Das Bauteil: Eine Leichtbauabdeckung für die Mittelkonsole, hergestellt mit Kohlenstoff-Fasern der Firma Zoltek und imprägniert mit Loctite MAX 2.

## Angepasste Maschinenteknik für Polyurethan-RTM

Auch wenn Hochdruck-PUR-Verarbeitung und Hochdruck-RTM schon den Stand der Technik beschreiben, erfordert das PUR-RTM Anpassungen an der Maschinenteknik. Aufbauend auf dem Verarbeitungs-Know-How von Henkel optimierten die Ingenieure von KraussMaffei die bewährten Misch- und Dosierstationen sowie die Mischköpfe weiter, um die hochgenaue Dosiertechnik und damit die Prozessführung im Hochtemperatur-Niveau zu verbessern. Das Ergebnis zeigt sich auch am Bauteil: Hervorragende Mischgüte der Komponenten unter Hochdruck sichert homogene Produkteigenschaften ohne Lufteinschlüsse. Damit stehen für die Serienproduktion geeignete und bewährte Systeme zur Verfügung.<sup>5, 6</sup>

Vollständig wird eine Anwendungslösung für die Automobilindustrie allerdings erst durch die Integration in ein Gesamtpaket. Entsprechend bietet Henkel individuell formulierte Klebstoffe, so dass eine sichere Integration der unterschiedlichen Bauteil-Materialien im Rahmen moderner Multimaterialkonzepte gewährleistet ist.

Klebstoff	Aushärtungszeit	Aushärtungs-temperatur	Anwendung	Zugscherfestigkeit [MPa]	Bruchdehnung [%]
Terokal 5055	240	2K Epoxy / RT	Strukturelle Verklebungen	18 – 22	3
Terostat MS 9399	90 – 180	2K SMP / RT	Elastische Verklebungen	2	150
Terolan 1510	0,5	1K PUR / > 85 °C	Strukturelle Verklebungen, schnelle Aushärtung	10 – 14	120
Terolan 1103	2	1K PUR / > 95 °C	Flanschabdichten	4	200
Teromix 6700	120	2K PUR / RT	Strukturelle Verklebungen	13	< 10

Tabelle 3: Henkel Klebstoff-Portfolio für das Verbinden von Kompositen.

## Neue Möglichkeiten für die Serienproduktion

Die polyurethanbasierte Matrixharztechnologie Loctite MAX 2 bietet ein sehr attraktives, auf die Erfordernisse der Automobilindustrie abgestimmtes Eigenschaftsprofil. Eine gute Handhabbarkeit im RTM-Verfahren verbunden mit niedriger Injektionsviskosität und Kontrolle der Härtungsgeschwindigkeit ermöglicht in der Kompositenfertigung kurze Zykluszeiten (< 5 min). Die exzellente intrinsische Zähigkeit des Harzes führt zu hoher dynamischer Belastbarkeit und Ermüdungstoleranz.

Die Kombination von Loctite MAX 2 mit Glas- oder Karbonfasern eröffnet neue Möglichkeiten zur kosteneffizienten Serienproduktion von Leichtbauteilen in der Automobilindustrie. Erste Anwendungen sind derzeit in der Kommerzialisierungsphase.

#### **Autoren:**

Frank Deutschländer  
Global Market Manager Automotive  
Henkel AG & Co. KGaA, Adhesive Technologies, Duesseldorf, Germany

Dr. Andreas Ferencz  
Manager Composites  
Henkel AG & Co. KGaA, Adhesive Technologies, Duesseldorf, Germany

#### **Literatur**

1. K. Potter, "Resin transfer moulding", Chapman & Hall, London, (1997).
2. W.J. Cantwell; J. Morton, "The impact resistance of composite materials – a review" Composites 22(5), 347-362, (1991).
3. M. Kempf; S. Schwaegele; A. Ferencz; V. Altstaedt, "Effect of impact damage on the compression fatigue performance of glass and carbon fibre reinforced composites" 18th International Conference on Composite Materials, Jeju, Korea, (2011).
4. J. Summerscales, "A model for the effect of fibre clustering on the flow rate in resin transfer moulding", Composites Manufacturing 4 (1), 27–31, (1993).
5. E. Fries; J. Renkl; S. Schmidhuber, „Mit vernetzter Kompetenz zum Hochleistungsbauteil“, Kunststoffe 9 (2011).
6. E. Fries; J. Renkl; S. Schmidhuber; M. Betsche, „Effiziente Fertigungskonzepte für Leichtbaustrukturen“, Lightweight Design 5 (2011).

**Fotomaterial finden Sie im Internet unter <http://www.henkel.de/presse>**

**Weitere Informationen zur Maschinenteknik von Krauss Maffei erhalten Sie unter:  
[www.kraussmaffei.com](http://www.kraussmaffei.com)**

**Loctite ist eine eingetragene Marke der Henkel Gruppe mit Schutz in Deutschland und anderen Ländern.**

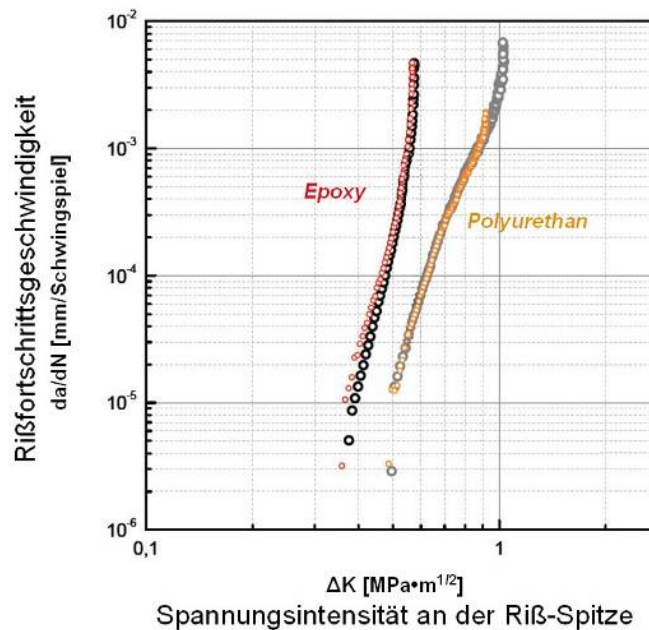
Henkel ist weltweit mit führenden Marken und Technologien in den drei Geschäftsfeldern Laundry & Home Care, Beauty Care und Adhesive Technologies tätig. Das 1876 gegründete Unternehmen hält mit rund 47.000 Mitarbeitern und bekannten Marken wie Persil, Schwarzkopf oder Loctite global führende Marktpositionen im Konsumenten- und im Industriegeschäft. Im Geschäftsjahr 2012 erzielte Henkel einen Umsatz von 16.510 Mio. Euro und ein bereinigtes betriebliches Ergebnis von 2.335 Mio. Euro. Die Vorzugsaktien von Henkel sind im DAX notiert.

Kontakt Lisa Kretzberg  
Telefon +49 211 797-56 72  
E-Mail lisa.kretzberg@henkel.com

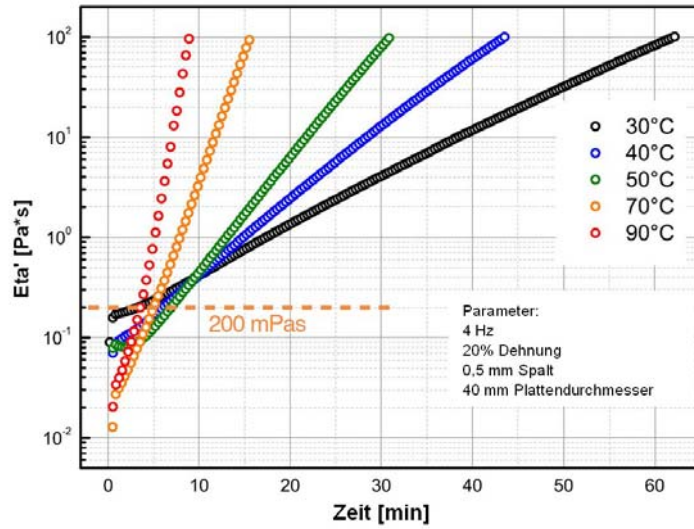
Holger Elfes  
+49 211 797-99 33  
holger.elfes@henkel.com

Henkel AG & Co. KGaA

Folgendes Fotomaterial ist verfügbar:



Untersuchung des Rissfortschritts unter Wechsellast (Reinharz). Vergleich einer typischen Epoxidharz-Referenz mit einem entsprechenden Polyurethanharz.



Rheologisches Verhalten von Loctite MAX 2 während der Härtung bei verschiedenen Temperaturen.



Geöffnete Form mit dem unbearbeiteten Bauteil vor der Entnahme (KraussMaffei in München).



Das Bauteil: Eine Leichtbauabdeckung für die Mittelkonsole, hergestellt mit Kohlenstoff-Fasern der Firma Zoltek und dem Matrixharz Loctite MAX 2 der Firma Henkel.



Klebstoff	Aushärtungszeit	Aushärtungs- temperatur	Anwendung	Zugscherfestigkeit [MPa]	Bruchdehnung [%]
Terokal 5055	240	2K Epoxy/RT	Strukturelle Verklebungen	18 – 22	3
Terostat MS 9399	90 – 180	2K SMP/RT	Elastische Verklebungen	2	150
Terolan 1510	0,5	1K PUR/> 85 °C	Strukturelle Verklebungen, schnelle Aushärtung	10 – 14	120
Terolan 1103	2	1K PUR/> 95 °C	Flanschabdichten	4	200
Teromix 6700	120	2K PUR/RT	Strukturelle Verklebungen	13	< 10

Henkel Klebstoff-Portfolio für das Fügen von Kompositen im Automobil.